

Grafična ponazoritev oblikovanosti Zemljinega površja s sencami

IZVLEČEK

Senčen relief je simboličen, posplošen in pretiran približek resničnosti, hkrati pa intuitiven in estetski prikaz rezgibanosti površja. Prispevek predstavlja pregled razvoja tehnik senčenja in glavne protagoniste, njihova orodja in teoretična izhodišča, vse od analognega senčenja s svinčnikom in papirjem do digitalne dobe analitičnega senčenja reliefa in njegovih izboljšav.

Ključne besede: kartografija, relief, senčenje.

ABSTRACT

Shaded relief is symbolic, generalized and exaggerated approximation of reality, which at the same time represents topography in aesthetic and intuitive manner. The article presents an overview of the development of shading techniques and the main protagonists, their tools and theoretical frameworks, since the analog shading with paper and pen to the digital era with analytical shaded relief and its improvements.

Key words: cartography, relief, shading, hillshading.

Znameniti slovenski kartograf Ivan Selan je zemljevide izdeloval s preprostim risarskim orodjem, ki si ga je v veliki meri izdelal sam (Žerovnik 2012). Danes zemljevide izdeluje in uporablja več ljudi kot kadarkoli prej, čeprav, oziroma prav zato, ker se za to uporabljajo izredno sofisticirana računalniška orodja. V časovnem obdobju ene generacije je kartografija, podobno kot fotografija, doživela splošno popularizacijo.

Po mnenju Eduarda Imhofa, eminence kartografskega prikaza reliefa, je ena od temeljnih nalog kartografa primeren prikaz razgibanosti površja (Imhof 2007). Vpliv napredka v znanosti in tehnologiji na kartografijo v klasičnem smislu se morda še najbolj kaže prav v načinih prikaza reliefa in načinih njegove izdelave. Senčen relief so bili nekoč sposobni izdelati le nekateri mojstrsko izurjeni umetniki, danes pa ga lahko z nekaj kliki izdelava vsak, ki ima na razpolago ustrezno (tudi brezplačno) programsko orodje.

Kaj je senčenje reliefa in od kod izhaja?

Določen del informacij uporabnik zemljevida prejme intuitivno in malo je kartografskih prikazov, ki so tako intuitivni, kot je senčen relief. Med psihologi in kartografi, ki raziskujejo, kako ljudje zaznavamo in dojemamo zemljevide, prevladujejo različne teorije, kaj poteka na zavedni in kaj na podzavedni ravni (MacEachren 1995). Čeprav je način prikaza trirazsežnostnega površja na ploski površini eno najstarejših prizadevanj kartografov, pa je o tem, zakaj in kako nam v fiziološkem in psihološkem pogledu različni odtenki barve nakazujejo obliko površja, le malo znanega.

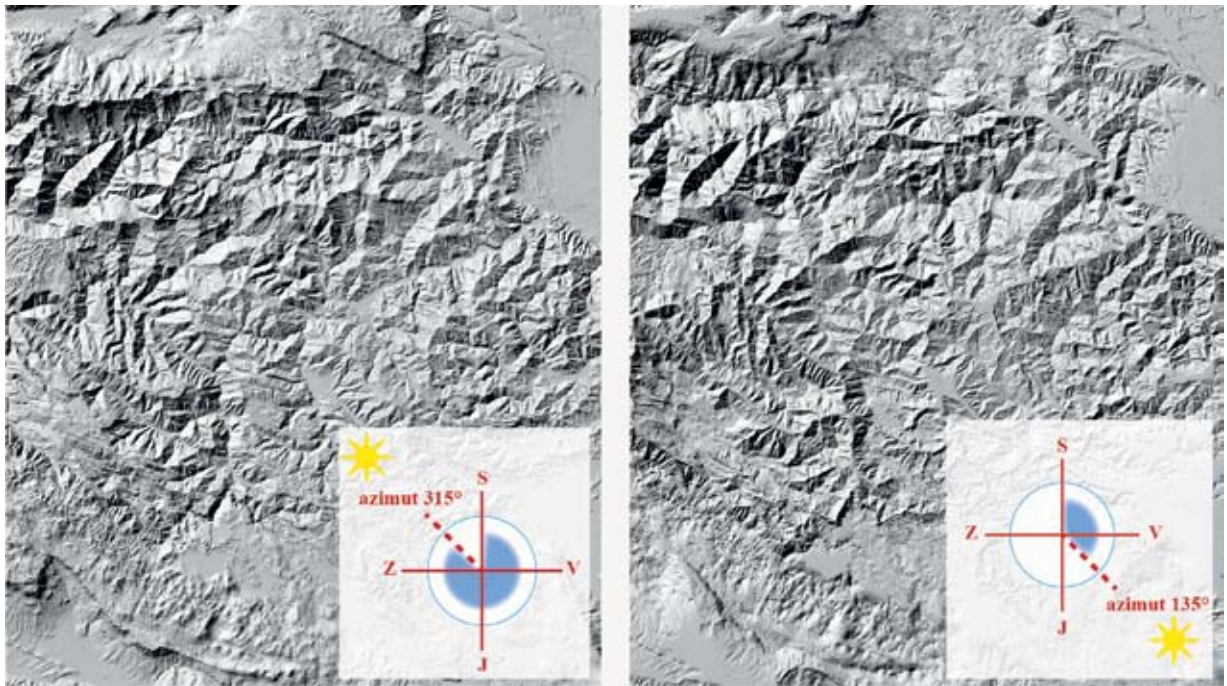
S pojmom senčenje v kartografiji označujemo (eno)barvno toniranje površine na vnaprej znani način, ki ustvari zaznavo trirazsežnostne pokrajine (Imhof 2007). Sence določimo glede na hipotetični točkovni izvor svetlobe, pri čemer stopnja osvetlitve nakazuje obliko in orientacijo površja (MacEachren 1995). Senčenje reliefa je bilo do pred nekaj desetletji izrazito umetniška veščina, kateere navdih so bile slikarske tehnike senčenja. V likovni umetnosti se tehnika z uporabo svetlobe in sence, z namenom da se ustvari iluzija trirazsežnostnih predmetov v prostoru, imenuje *chiaroscuro*. Beseda je sestavljena iz italijanskih besed *chiaro* (svetloba) in *oscuro* (tema) (Horn 1981). Čeprav z razvojem tehnologije vedno manj, je kartografija od nekdanje razpete med znanostjo in umetnostjo.

Avtorica besedila:

TANJA KOŽELJ, univ. dipl. geog.
 Oddelek za geografijo Filozofske
 fakultete Univerze v Ljubljani
 Aškerčeva cesta 2, 1000 Ljubljana
 E-pošta: tanja.kozelj@ff.uni-lj.si

COBISS 1.04 strokovni članek

Zanimivo je, da so na nekaterih najstarejših zemljevidih, na katerih so vzpete dele prikazovali s senčenimi krtinami, sence narisali na desni (na sever orientiranim zemljevidom na vzhodni strani (Gašperič 2016). Danes velja prepričanje, da mora biti relief osvetljen od zgoraj, kot najboljša postavitev vira svetlobe velja točka zgoraj levo (torej severozahod pri zemljevidih, orientiranih na sever). Čeprav je takšna postavitev na severni polobli nasprotna dejanski smeri Sončevih žarkov, se zdi na zemljevidu logična, saj ljudje sence na zemljevidih



Slika 1: Razlika v videzu senčenega reliefa, enkrat osvetljenega iz severozahoda (levo) in drugič iz jugovzhoda (desno) (avtorica Tanja Koželj, podatki GURS, DMV05).

dojemamo podobno kot na umetniških slikah (MacEachren 1995). Na sliki 1 je primer reliefa, osvetljenega iz dveh različnih smeri. Na desni sliki so vzpeti deli videti kot vdolbine in pogreznjeni kot izbokline.

Zgodovina razvoja tehnik senčenja reliefa

V kartografiji se senčenje pojavlja že na najstarejših zemljevidih, vendar do 19. stoletja le kot dodatek stiliziranemu načinu prikaza reliefa (Gašperič 2016). Prvi primer bolj realističnega prikaza, kjer vzpetine niso le simboli, so zemljevidi Toskane, ki jih je v letih 1502–1503 narisal Leonardo da Vinci (Imhof 2007). Leta 1667 je Hans Conrad Gyger vodstvu mesta Zürich predstavil svoj 5 m² velik zemljevid širšega območja mesta v merilu 1 : 32.000 s senčenim reliefom, za katerega je porabil 38 let raziskav

in slikanja. To je bil prvi zemljevid v planimetrični perspektivi (od zgoraj), kjer je bil relief prikazan s sencami. Ker je šlo za vojaško skrivnost, je zemljevid ostal skrit in ni imel vpliva na sodobno kartografijo. Zemljevidi s senčenim reliefom primerljive kakovosti in lepote so začeli nastajati šele 200 let pozneje (Imhof 2007). Kdaj je bil natisnjen prvi zemljevid s senčenim reliefom, ni povsem znano, zagotovo pa po letu 1796, ker je bilo šele z iznajdbo litografije omogočeno tiskanje v različnih odtenkih oziroma barvah (medmrežje 1).

Uporaba litografije v kartografiji se je povsem uveljavila šele po letu 1840, zato na zemljevidih, nastalih do sredine 19. stoletja, prevladuje prikazovanje reliefa s črtkami. V drugi polovici 19. stoletja so med kartografi potekale burne razprave o prednostih in sla-

bostih prikazovanja reliefa s črtkami oziroma s sencami in okrog sto let sta bila oba pristopa skoraj enakovredno zastopana (Imhof 2007).

V tem času so se ljudje vse bolj zavedali vpliva, ki ga imata nadmorska višina in oblikovanost površja na temperaturne razmere, rastlinstvo in posledično njihovo življenje in delovanje. Hkrati je napredek v tehniki omogočal čedalje natančnejše meritve. V kartografiji je nastal razkorak med prizadevanji za čimbolj realističen prikaz na eni strani in kar največjo natančnostjo na drugi. Do začetka 20. stoletja so se za prikaz reliefa uveljavile tri tehnike – poleg senčenja in črtkanja še prikaz s plastnicami – in seveda njihove kombinacije. Med vsemi kombinacijami se je najbolj uveljavila švicarska metoda prikaza reliefa, ki združuje plastnice z izrisanimi

klifi, senčenje ter obarvanost višinskih pasov (hisometrijo) in upošteva zračno perspektivo (atmosferski učinek) (medmrežje 1). Švicarski način senčenja reliefa (angleško *Swiss Style Relief Shading*) je izredno učinkovita in vizualno prijetna metoda senčenja, s katero so najvišji deli prikazani z najsvetlejšimi toni in najtemnejšimi sencami, proti dolinam pa se moč senc zmanjšuje.

Eden prvih zemljevidov, ki so nastali v maniri švicarskega načina senčenja reliefa, je leta 1887 natisnjeni topografski zemljevid Fridolina Beckerja. Backer je bil tudi eden od kartografov pri Švicarski planinski zvezi, ki je imela pionirsko vlogo pri razvoju metode. Konec 19. stoletja je pod njenim okriljem zaradi pomanjkanja natančnih zemljevidov za potrebe planincev nastalo 35 izletniških zemljevidov, večinoma v merilu 1 : 50.000. Beckerjevo tehniko so prevzeli tudi drugi kartografi in njene osnove se v veliki meri še vedno upošteva pri izdelavi švicarskih šolskih atlasov. Nekateri Beckerjevi sodobniki so njegovo metodo povsem prevzeli, drugi so jo nadgradili, praktično do popolnosti pa jo je izboljšal Eduard Imhof.

Pred Imhofom so pri Švicarski planinski zvezi, Zvezni geodetski upravi Švice (Swisstopo) in Švicarskem zveznem inštitutu za tehnologijo (ETH Zürich) delovali številni kartografi, ki so se v zgodovino zapisali kot umetniki senčenja reliefa. Najbolj znani med njimi so Rudolf Leutinger, Xaver Imfeld in brata Kümmerly. Kljub prevladi Švicarjev so se pri senčenju reliefa uveljavili tudi nekateri drugi kartografi.

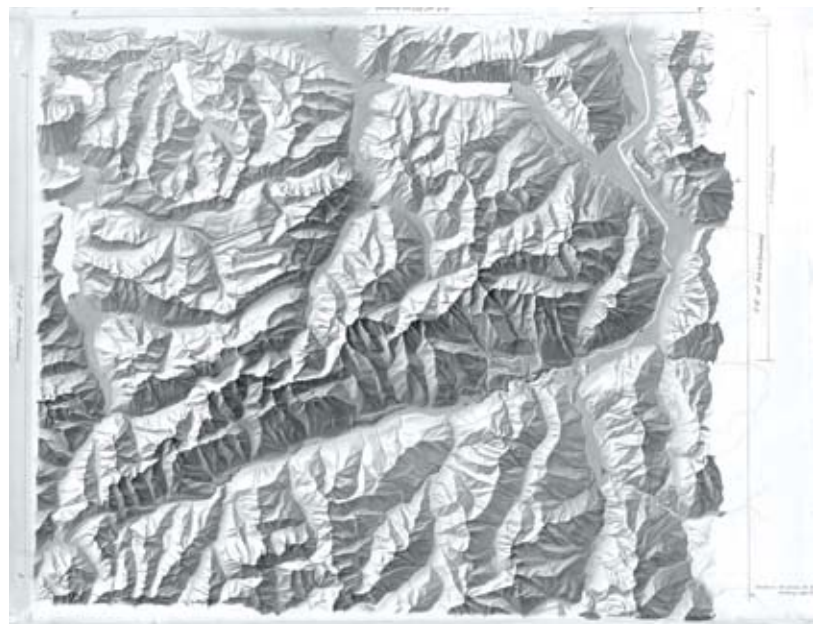
Povsem svojevrstno metodo senčenja je razvil Nemeč Karl Wenschow. Po njegovi metodi se v tridimenzionalni mavčni model vreže natančen relief, ki se ga nato iz strani osvetli in s posebnim fotoapartom fotografira z razdalje od 40 do 50 metrov.

Najbolj uveljavljeno ime, ki ga povezujemo s kartografskim prikazom oblikovanosti površja, je prav gotovo Eduard Imhof, ki je bil med letoma 1925 in 1965 profesor kartografije na Švicarskem zveznem inštitutu za tehnologijo (ETH Zurich). Najbolj slaven je zaradi svojih prikazov površja na šolskih zemljevidih in v atlasih, pa tudi legendarne knjige z naslovom *Kartografski prikaz reliefa (Kartographische Geländedarstellung)*, ki je bila v nemščini izdana leta 1965, prvič prevedena v angleščino leta 1982 in leta 2007 ponatisnjena. Na sliki 2

se na izseku senčenega reliefa, ki ga je izdelal skupaj z Heinzom Leuzingerjem, vidi izpopolnjenost metode švicarskega načina senčenja s prepoznavno zračno perspektivo. Knjižnica Inštituta ETH ima o njegovem življenju in delu izredno bogato in podrobno biografsko spletno bazo, kjer lahko si lahko ogledamo njegovo neverjetno kartografsko, pa tudi slikarsko nadarjenost in plodovitost (medmrežje 3).

Med njegovimi sodobniki in naslednjiki velja izpostaviti Avstrijca Heinricha Caesarja Beranna, Američane Hala Sheltona, Billa von Allmena, Toma Pattersona, Tiborja Tótha, ki je bil po rodu Madžar, Švicarje Paula Witzlerja, Fritza Häfelija, Eduarda Geissbühlerja, Paula Ehrlicha, Rudolfa Morfa, Heinza Leuzingerja in Škota Michaela Wooda. Večinoma so bili šolani kartografi (topografi), nekateri

Slika 2: Izsek senčenega reliefa Eduarda Imhofa in Heinza Leuzingerja iz leta 1963 ali prej, ki je bil uporabljen za šolski stenski zemljevid švicarskega kantona Graubünden (medmrežje 4).





Slika 3: Izsek iz Selanove Turistične avtokarte Slovenije z Istro in Hrvatskim Primorjem.

pa so se prvotno izučili za slikarje in so se kartografije priučili kasneje.

Najbolj znan slovenski kartograf in izdelovalec reliefov Ivan Selan je bil za razliko od večine švicarskih in ostalih kartografskih strokovnjakov samouk. Poleg izdelovanja zemljevidov se je do svojega 65. leta aktivno ukvarjal tudi s kmetovanjem. Po drugi svetovni vojni, ko je na Slovenskem primanjkovalo kartografskih gradiv za šole, je v sodelovanju z geografoma Valterjem Bohincem in Francetom Planino, ki sta njegove izdelke priredila, izdelal številne zemljevide, na katerih je mojstrsko prikazal tudi relief s sencami. Na sliki 3 je izsek z enega njegovih največkrat ponatisnjenih zemljevidov, turistične avtokarte iz leta 1962 s subtilnim a učinkovitim senčenjem. Na večini ostalih zemljevidov je, da bi dosegel čim boljši učinek, senčenje uporabil v kombinaciji s hipsometrijo (Žerovnik 2012). Kartografsko delo Ivana Selana

je nadaljeval Marko Žerovnik, ki je o Selanu napisal tudi obširno biografijo.

Orodja in pravila pri analognem senčenju reliefa

Sprva so za senčenje reliefa uporabljali le grafitni svinčnik, kmalu so za poudarke poleg njega začeli uporabljati še črnilo, oglje in kreda, po letu 1950 pa je prevladala tako imenovana airbrush tehnika (medmrežje 2). Airbrush je zelo natančna pršilna naprava, pri kateri pritisk zraka potisne akvarelno barvo skozi šobo, za katero je igla, ki barvo razprši v izredno drobnih kapljicah (Imhof 2007).

Ne glede na vrsto premaza (grafit, oglje, črnilo, akvarelna barva, kreda) je pri ročnem senčenju reliefa pomembno, da je premaz drobnozrnat, gost in v razponu od najčistejše bele barve do najgloblje črne ter od čiste prosojnosti do popolne motnosti (Im-

Slika 4: Osnovni zemljevid s plastnicami in hidrografsko mrežo švicarske Zvezne geodetske uprave (swisstopo) (medmrežje 1).



hof 2007). Sence se nanaša na podlago, na kateri je gosta mreža usmerjevalnih linij; kadar gre za zemljevide velikega ali srednjega merila, so to ponavadi plastnice. Na sliki 4 je primer nedokončanega senčenja, ki nakazuje postopek ročnega senčenja na podlagi plastnic.

Za ročno senčenje so kartografi navedno uporabljali svinčnike, palčke iz oglja, grafit v prahu, ki so ga nanašali z gobo ali bombažno vato, čopiče in airbrush spreje. Daleč najpomembnejše orodje je bil dober svinčnik, ki ga je vsak dober kartograf moral znati pravilno ošiliti. Samo šilček ni zadostoval, potrebna je bila še uporaba noža in smirkovega papirja, tako da je konica dobila obliko vitkega klina, s katero je bilo možno narisati tako najbolj tanko črto kot tudi barvati prostrana območja. Ker se grafitni premazi zlahka razmažejo, je bilo že izrisane dele treba zaščititi s celofanom. Najprimernejša podlaga je bil kakovosten, povsem bel (modro-bel je boljši kot rumeno-bel) gladek papir, vzdržan na radiranje ali praskanje, nesvetleč in slabo vpojen (Imhof 2007).

Airbrush tehnika je v primerjavi z drugimi hitrejša, sence imajo večji kontrast in bolj gladke prehode, vendar so popravki težje izvedljivi, upravljanje z napravo pa je zahtevno (medmrežje 2). Imhof je bil prepričan, da je tehnika precenjena in primerna predvsem za hitro barvanje večjih površin enake vrednosti, kot so nižine in dna dolin, za mehčanje prehodov med pokrajinami z večjim kontrastom in kot dodatek za toniranje učinkov zračne perspektive.

Digitalna doba in uveljavitev analitičnega senčenja

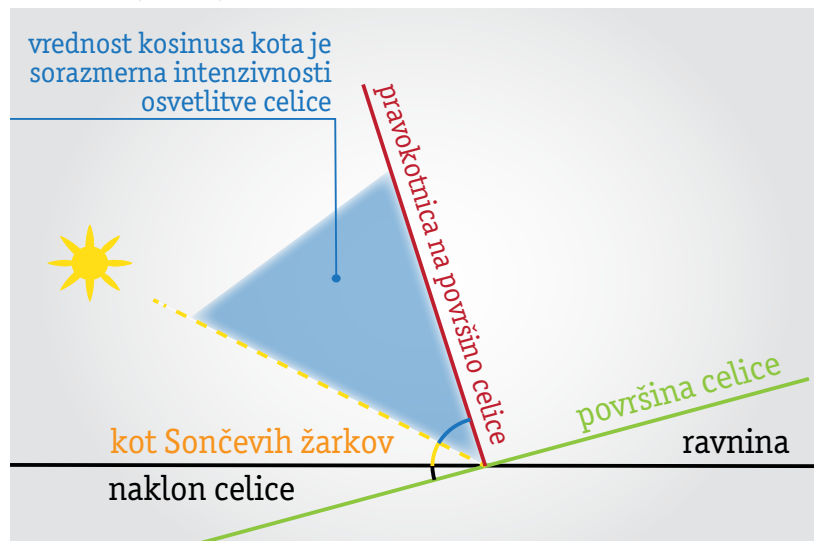
Sredi šestdesetih let prejšnjega stoletja je Pinhas Yoeli, učenec Eduarda Imhofa na Švicarskem zveznem inštitutu za tehnologijo (ETH Zurich), začel s poskusi računalniškega načina senčenja reliefa. Na podlagi plastnic ali stereomodelov je v gosto pravilno mrežo vnesel višine posameznih celic in tako ustvaril digitalni model višin. Nato je izračunal kosinus kota med izbrano smerjo Sončevih žarkov in pravokotnico na površje vsake celice (slika 5). Ta vrednost je sorazmerna z intenzivnostjo osvetlitve posamezne celice. Vrednosti je nato normaliziral in njihovemu razponu od 0 do 1 določil diskretne odenke na lestvici sivin ter tako dobil prvi digitalni senčen relief (Imhof 2007).

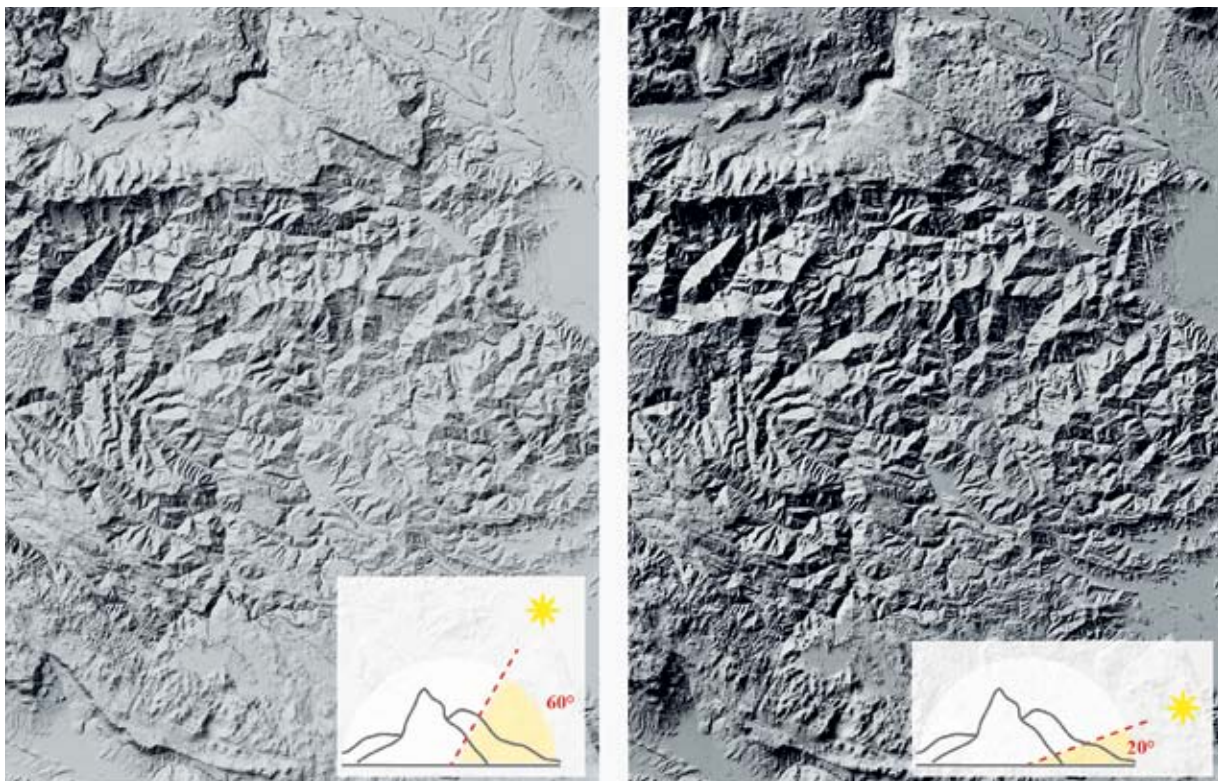
V Sloveniji je bilo že v sedemdesetih letih nekaj poskusov ročne izdelave digitalnega modela višin za posamezna manjša območja (Domžale,

Ljubljana). Digitalni model višin za celotno državo s celično mrežo ločljivosti 100 metrov je bil izdelan leta 1984, nakar je več let trajalo odtranjevanje njegovih grobih napak (Podobnikar 2003). Leta 1995 je z uporabo tega modela na Geografskem inštitutu Antona Melika ZRC SAZU nastal prvi v celoti na digitalni način izdelan prikaz razgibanosti površja Slovenije. Na zemljevidu v merilu 1 : 250.000, ki sta ga izdelala Drago Perko in Milan Orožen Adamič, je relief prikazan plastično, z obarvanimi višinskimi pasovi (hipsometrijo) in senčenimi nakloni površja (Perko 2001).

Analitično senčenje reliefa (angleško *hills shading*) temelji na računalniško podprtih postopkih za vizualizacijo na podlagi digitalnega modela višin (Podobnikar 2013). Operacija se izvede tako, da se orientacija celice (usmerjenost in naklon) primerja z lokacijo vira svetlobe, ki ga določimo z azimutom in višinskim kotom. Celicam, na

Slika 5: Načelo računanja osončenosti pri postopku analitičnega senčenja reliefa (avtorica Tanja Koželj).





Slika 6: Primer analitičnega senčenja z različnim višinskim kotom (avtorica Tanja Koželj, podatki GURS, DMV05).

katere svetloba pade neposredno, se pripiše vrednost 255 (bela), celicam, na katere svetloba sploh ne pade, se dodeli vrednost 0 (črna). Ostale celice imajo stopnjo sivine določenogleda na količino prejete svetlobe. Na sliki 6 je prikazano, kako spreminjanje višinskega kota vpliva na dolžino senc. Čeprav se je najbolj uveljavil način senčenja z vrednostmi azimuta 315° in višine Sonca 45° , je vselej treba preveriti, če to dejansko ustreza izbranemu reliefu. Če bi tako senčili na primer gorsko verigo, ki poteka v smeri SV–JZ in ima pobočja nagnjena za približno 45° , bi dobili črno-belo sliko, čemur se mora kartograf pri senčenju reliefa izogibati. Druga skrajnost je z istimi vrednostmi senčeno gorovje, ki se razteza v smeri SZ–JV in bi se povsem izgubilo, saj bi bilo enakomerno sivo obarvano.

Izboljšave tehnik senčenja in senčenje reliefa v sodobni kartografiji

Zaslužni profesor züriške univerze Kurt Brassel je v članku, objavljenem leta 1974, predlagal izboljšave analitičnega senčenja, ki bi posnemale švicarsko metodo senčenja. Prva predlagana izboljšava je upoštevanje več virov svetlobe iz različnih smeri. Poleg primarnega naj bi se za vsako celico upošteval tudi vir svetlobe, prilagojen ekspoziciji te celice, za posamezno celico pa naj bi se prilagajala tudi višina Sonca.

Druga predlagana izboljšava je uvedba atmosferskega učinka, pri čemer se nižjim nadmorskim višinam kontrast zmanjša. Tretja je generalizacija na način, da se ostri robovi zabrišejo (angleško *blur*).

Danes se kljub neprimerno boljši opremljenosti in bistveno večjemu obsegu podatkov precej kartografov ukvarja s podobnimi problemi kot v preteklosti. Hiter razvoj izboljšave metod analitičnega senčenja v zadnjem desetletju gre pripisati predvsem izboljšanju kakovosti in s tem uporabnosti digitalnega modela višin. Znanstveniki so tako predlagali vrsto pristopov, ki upoštevajo različne tipe izvora svetlobe, odbojnost različnih materialov, posnemanje naravnega videza reliefa, prilagajanje značilnostim reliefa ali izvedbo slikarskih tehnik (Podobnikar 2013).

Za uporabo analitičnega senčenja za vizualizacijo je dandanes na voljo veliko orodij in postopkov. Posamezni algoritmi so dostopni tudi kot podalj-



Slika 7: ESRI-jeva podlaga *Multi-Directional Hillshade* v merilih 1 : 50.000 (levo) in 1 : 2.500.000 (desno) (ESRI 2016).

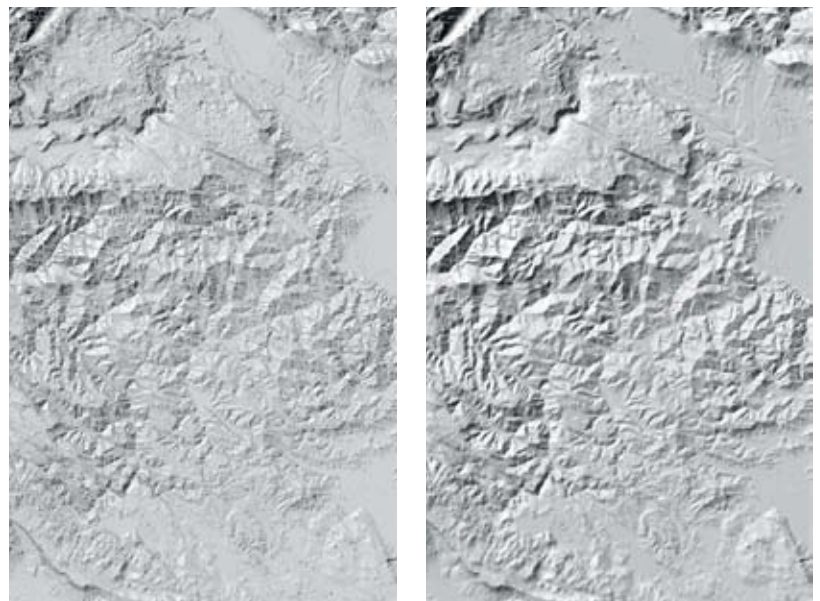
ški (ekstenzije) določenih GIS orodij (na primer DEM Surface Tools for ArcGIS avtorja Jeffa Jennessa (Jenness 2013)). Večinoma gre za algoritme, ki poskušajo analitičnemu senčenju dodati učinek švicarskega načina senčenja reliefa. Nekatera GIS orodja imajo izdelane visoko kakovostne reliefne podlage, ki jih lahko na svoj zemljevid umestimo le s povezavo na izdelek v oblaku. Za nameček so te podlage lahko dinamične, kar pomeni, da se bodo v realnem času prilagodile merilu zemljevida, podobno, kot se na interaktivnih zemljevidih prilagaja topografska rastrska podlaga. Na sliki 7 je primer ESRI-jeve podlage, senčene iz šestih različnih smeri v velikem in majhnem merilu (ESRI 2015).

Kljub številnim izboljšavam analitičnega senčenja sodobni kartografi najbolj pogosto končni izdelek naredijo tako, da analitično senčen relief obdelajo z grafičnimi orodji. Takšna metoda je najboljši kompromis med

hitrostjo oziroma zahtevnostjo izdelave in kakovostjo rezultatov.

Kljub časovni zamudnosti nekateri kartografi še vedno senčijo relief tudi

Slika 8: Primerjava analitično senčenega reliefa na osnovi Jennesovega algoritma (metoda Multidirectional Oblique-Weighted Hillshade – MDOW; Jenness 2013) in analitično senčenega reliefa s klasično metodo programskega paketa ArcGIS ter grafično obdelavo z orodjem Adobe Photoshop.



ročno. Orodja, ki jih pri tem uporabljajo, so digitalni svinčniki in digitalne airbrush naprave v kombinaciji z grafičnimi tablicami. Sodobna digitalna orodja imajo enake zmožnosti kot njihovi analogni predhodniki in eno zelo pomembno prednost – možnost enostavnih popravkov. Primer takega reliefa je ročno senčen relief sveta na sliki 9, narejen za potrebe zemljevidov v majhnem merilu. Avtor Tom Patterson je za njegovo izdelavo porabil 100 ur (medmrežje 2). Patterson v sodelovanju z Jenny Bernhard vzdržuje spletni arhiv prosto dostopnih, večinoma tudi georeferenciranih ročno senčenih podlag (medmrežje 4).

Sklep


Turistični in planinski zemljevidi, avtokarte, stenski zemljevidi in seveda atlasi morajo poleg svoje funkcionalnosti zadostiti tudi estetskim meri-



Slika 9: Izsek iz ročno senčenega reliefa sveta Toma Pattersona v izvornem merilu 1 : 50.000.000 (medmrežje 2).

lom. Prikaz razgibanosti površja, najpogosteje kot kombinacija senčenja, hipsometrije in prikaza plastnic, veliko pripomore k privlačnosti končnega izdelka. S tehnikami senčenja reliefa so se kartografi začeli ukvarjati že raz-

meroma zgodaj in še v analogni dobi kartografije postavili glavne smernice dobrega senčenja reliefa. Digitalna doba je na to področje prinesla veliko sprememb in postopke senčenja v marsičem poenostavila, predvsem

pa pospešila. Kljub temu napredku si kartografi še vedno prizadevajo izboljšati načine senčenja reliefa, bodisi z nadgradnjo metod analitičnega senčenja bodisi v kombinaciji z grafičnimi ali ročnimi digitalnimi tehnikami. 

Viri in literatura

1. ESRI 2016: Terrain: Multi-Directional Hillshade. Medmrežje 5: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=3cedfc19d7b941d89ee15b0e2f454070> (5. 9. 2016).
2. Gašperič, P. 2016: Razvoj metod prikaza kartografskih elementov na starih zemljevidih ozemlja Slovenije. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
3. Horn, B. K. P. 1981: Hill Shading and the Reflectance Map. IEEE Proceedings 69. Medmrežje: <http://people.csail.mit.edu/bkph/papers/Hill-Shading.pdf> (5. 9. 2016).
4. Imhof, E. 2007: Cartographic Relief Presentation. Esri Press. Redlands.
5. Jenness, J. 2013: Manual - DEM Surface Tools for ArcGIS. Medmrežje: http://www.jennessent.com/downloads/DEM%20Surface%20Tools%20for%20ArcGIS_A4.pdf (5. 9. 2016).
6. MacEachren, A. M. 1995: How maps work. Representation, Visualization and Design. The Guilford Press. New York, London.
7. Medmrežje 1: <http://www.reliefshading.com> (5. 9. 2016).
8. Medmrežje 2: <http://www.shadedrelief.com> (5. 9. 2016).
9. Medmrežje 3: http://www.library.ethz.ch/exhibit/imhof/imhof3_e.html (5. 9. 2016).
10. Medmrežje 4: <http://www.shadedreliefarchive.com> (5. 9. 2016).
11. Perko, D. 2001: Analiza površja Slovenije s stometriškim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana. Medmrežje: <http://giam.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616182943.pdf> (5. 9. 2016).
12. Podobnikar, T. 2003: Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa Slovenije. Geodetski vestnik 47/1-2. Medmrežje: http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/gv47-1_047-054.pdf (5. 9. 2016).
13. Podobnikar, T. 2013: Napredno senčenje reliefa za topografske karte. Delo 54-298 (27. 12. 2012). Medmrežje: <http://www.delo.si/druzba/znanost/napredno-sencenje-reliefa-za-topografske-karte.html> (5. 9. 2016).
14. Žerovnik, M. 2012: Ivan Selan. Od ponarejanja denarja do slavnega kartografa. Občina Komenda. Komenda.